Journal of Agroecology
Vol. 11, No.2, Summer 2019, p. 453-466

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 11، شماره 2، تابستان 1398، ص 466-453

غنی‌سازی زیستی ارقام گندم نان (*Triticum aestivum* L.) قدیمی و جدید توسط محلول‌پاشی فرم‌های مختلف روی و آهن

الیاس آرزمجو[1]، محمدعلی بهدانی[2*]، سهراب محمودی[3] و بهزاد صادق‌زاده[4]

تاریخ دریافت: 1396/07/20
تاریخ پذیرش: 1396/11/03

آرزمجو، ا.، بهدانی، م.ع.، محمودی، س.، و صادق‌زاده، ب. 1398. غنی‌سازی زیستی ارقام گندم نان (*Triticum aestivum* L.) قدیمی و جدید توسط محلول‌پاشی فرم‌های مختلف روی و آهن. بوم‌شناسی کشاورزی. 11 (2): 466-453.

چکیده

محلول‌پاشی، رویکردی اجرایی، پایدار، اقتصادی و کاملاً مؤثر جهت غنی‌کردن عناصر ریزمغذی ضروری در دانه گیاهان زراعی است. به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی فرم‌های مختلف روی و آهن بر انتقال مجدد ماده خشک و کیفیت دانه چهار رقم گندم نان (*Triticum aestivum* L.) در دو منطقه با خصوصیات خاک متفاوت در استان خراسان جنوبی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی 95-1394 به اجرا درآمد. عوامل مورد بررسی عبارت بودند از: ارقام گندم (روشن، بک‌کراس روشن، بم و افق)؛ مصرف روی در سه سطح محلول‌پاشی با آب (شاهد)، سولفات‌روی و کلات‌روی و مصرف آهن نیز در سه سطح محلول‌پاشی با آب (شاهد)، سولفات‌آهن و کلات‌آهن (معادل 2/5 کیلوگرم در هکتار). آزمایش اول در منطقه امیرآباد بیرجند با بافت خاک لومی‌رسی‌شنی و pH 8/1 و EC 10/8 دسی‌زیمنس بر متر و آزمایش دوم در منطقه محمدیه بیرجند با بافت خاک لومی، pH معادل 7/6 و EC 4/4 دسی‌زیمنس بر متر انجام گردید. بر اساس نتایج حاصله غلظت روی و آهن دانه در امیرآباد به ترتیب 52/9 و 62/9 پی‌پی‌ام در مقایسه با مقادیر آن‌ها در محمدیه به ترتیب، 39/3 و 50/7 پی‌پی‌ام، کم‌تر بود. ارقام قدیمی‌تر روشن و بک-کراس روشن از غلظت روی، آهن و فسفر دانه بیشتر و انتقال مجدد ماده خشک کم‌تری در مقایسه با ارقام جدید بم و افق برخوردار بودند. بیشترین میزان، کارایی و سهم انتقال مجدد نیز به رقم افق و پس از آن به رقم بم اختصاص داشت. در آزمایش حاضر مشاهده گردید که محلول‌پاشی سولفات-روی منجر به بهبود 18 و 4/4 درصدی غلظت روی و نیتروژن و کاهش 15 درصدی فسفر دانه و محلول‌پاشی سولفات‌آهن نیز منجر به افزایش 13 درصدی غلظت آهن و کاهش 11 درصدی فسفر دانه در مقایسه با شاهد گردید. اثرات افزایشی فرم‌های سولفاته روی و آهن بر غلظت آن‌ها در دانه در مقایسه با فرم‌های کلاته نیز بهتر بود. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که استفاده از هر یک از منابع روی و آهن می‌تواند منجر به بهبود صفات کیفی گندم شود.

واژه‌های کلیدی: عناصر ریزمغذی، فتوسنتز جاری، فرم سولفاته و کلاته، نیتروژن دانه

مقدمه

تلاش‌های پیشین در تولیدات کشاورزی در درجه اول بر افزایش عملکرد گیاهان زراعی معطوف شده بود؛ با این‌وجود، مشخص گردیده که همراه‌شدن کاهش غلظت عناصر کم‌مصرف در دانه مشکل تهدیدکننده جدیدی برای افزایش عملکرد گیاهان زراعی و حتی امنیت غذایی است. هدف نهایی کشاورزی مدرن تولید غذاهای مغذی به میزان کافی و پایدار است (Zhao & McGrath, 2009). در کشورهای در حال‌توسعه، سوءتغذیه ناشی از عناصر غذایی در انسان ناشی از کمبودهای این عناصر در غذاهای اصلی آن‌ها به‌ویژه گندم و برنج در آسیا و ذرت و سورگوم در آفریقاست. بنابراین کیفیت پائین محصولات کشاورزی، عامل اصلی کمبودهای عناصر ریزمغذی در

1، 2 و 3- به‌ترتیب دانش‌آموخته دکتری زراعت، استاد و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه بیرجند
4- دانشیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email:mabehdani@birjand.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v11i2.67935

انسان به‌ویژه در کشورهای در حال‌توسعه است (Cakmak, 2008). اعتقاد بر این است که افزایش عناصر ریزمغذی در این‌گونه گیاهان زراعی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی جذب آن‌ها از جیره غذایی در چنین مناطقی را افزایش دهد (White & Broadley,2005). کمبود روی و آهن مسئول مشکلات زیادی در زمینه سلامتی انسان شناخته شده‌اند (Gómez-Galera et al., 2010).

خاک‌های بسیاری از نواحی کشور ما آهکی بوده و دارای اسیدیته بالا و ماده آلی کمی می‌باشند و بروز کمبود روی و آهن در آن‌ها بسیار محتمل است. کمبود فراگیر روی و آهن در خاک‌های ایران باعث کاهش غلظت این عناصر در گیاهان زراعی شده و درنتیجه منجر به کمبود این عناصر در دام‌ها و انسان‌ها شده است (Malakouti, 2007; Sadeghzadeh, 2013). گندم‌های رشد کرده در خاک‌های فقیر ازنظر روی و آهن، عملکرد دانه کمی تولید کرده و محتوی روی و آهن اندکی نیز دارند (Alloway, 2008). اگرچه اصلاح جیره غذایی و تنوع آن، پایدارترین رویه است، اما ایجاد تغییر و بهبود جیره‌غذایی عموماً کار مشکلی است و غذاهایی که روی و آهنِ قابل‌دسترس زیادی ازلحاظ زیستی (نظیر گوشت) فراهم می‌کنند، گران هستند. غنی‌سازی‌زیستیِ زراعی، به‌عنوان کاربرد کودهای ریزمغذی به‌صورت خاکی یا محلول‌پاشی برای افزایش غلظت‌های آن‌ها در دانه شناخته می‌شود که رویه‌ای انعطاف‌پذیر بوده و می‌تواند برای تمامی گونه‌ها و ارقام گیاهان زراعی استفاده شود. در مقایسه با غنی‌سازی‌زیستی ژنتیکی، این رویه به‌عنوان راه‌حلی کوتاه‌مدت، بدون نیاز به سال‌ها فعالیت‌های کراس و بک‌کراس‌گیری[1] است. بنابراین، یکی از راه‌های تأمین روی و آهن موردنیاز گیاهان محلول‌پاشی است که از ویژگی‌های این روش می‌توان به برطرف کردن سریع کمبود، جلوگیری از تثبیت عنصر در خاک، آسان‌تر بودن اجرای آن، کاهش سمیت ناشی از تجمع این عناصر در خاک، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و خطرات زیست‌محیطی ناشی از آن‌ها اشاره کرد (Khoshgoftarmanesh, 2007).

به‌دلیل کارایی بالای انتقال روی در آوندهای آبکش گندم (*Triticum aestivum* L.) (Haslett et al., 2001)، محلول‌پاشی روی مؤثرترین روش برای بهبود غلظت آن در دانه تشخیص داده‌شده که می‌تواند بسته به نوع خاک و شرایط اقلیمی، غلظت آن را دو تا سه برابر افزایش دهد (Cakmak, 2008). وقتی کودهای روی به‌صورت برگی استفاده شوند، اهمیت ویژه‌ای دارد که ترکیبات محلول روی استفاده شوند تا اطمینان حاصل نمود که وارد آپوپلاست برگ شوند و بتوانند توسط سلول‌های گیاه بدون تجمع در سطح برگ جذب شوند (Cakmak, 2008). سه نوع ترکیب مختلف به‌عنوان کودهای روی شامل ترکیبات غیرآلی، کلات‌های سنتزی و کمپلکس‌های آلی طبیعی وجود دارند که به‌طور قابل‌توجهی ازنظر مقدار روی، قیمت و میزان اثرگذاری بر گیاهان زراعی در انواع مختلف خاک‌ها با یکدیگر متفاوت‌اند. منابع غیرآلی روی شامل اکسید روی (ZnO)، کربنات‌روی ($ZnCO_3$)، سولفات‌روی ($ZnSO_4$)، نیترات‌روی ($Zn(NO_3)_2$) و کلرید روی ($ZnCl_2$) هستند که سولفات‌روی رایج‌ترین آن‌هاست و در سراسر دنیا مورداستفاده قرار می‌گیرد. لیگاندهای کلات‌کننده سنتزی مورداستفاده برای روی شامل EDTA، DTPA و HEDTA هستند که البته EDTA تا به امروز گسترده‌ترین کاربرد را دارد (Alloway, 2008). وی و همکاران (Wei et al., 2012) اثر منابع مختلف سولفات‌روی، کلات‌روی، سیترات‌روی و اسیدآمینه‌روی در ارقام برنج را بررسی و گزارش نمودند که محلول‌پاشی روی، عملیات زراعی مؤثری برای افزایش غلظت روی دانه و دسترسی زیستی آن در هر سه رقم موردبررسی بود. در آزمایش آن‌ها منابع اسیدآمینه و سولفات-روی از تأثیر بیشتری برخوردار بودند. از طرف دیگر، اختلاف بین گونه‌های غلات و بین ارقام یک گونه در پاسخ به کمبود روی گزارش‌شده است (Sadeghzadeh et al., 2009). پتانسیل رشدی ارقام مختلف گندم با یکدیگر متفاوت است و توان جذب روی و آهن آن‌ها از خاک و واکنش آن‌ها به مصرف این کودها فرق می‌کند. میرطالبی و همکاران (Mirtalebi et al., 2013) اثر سولفات‌روی بر عملکرد و میزان روی و پروتئین دانه سه رقم گندم (*Oriza sativa* L.) را موردبررسی قرار داده و گزارش نمودند که مصرف سولفات‌روی موجب افزایش درصد روی و پروتئین دانه گردید. همچنین مقدار روی و پروتئین دانه در ارقام موردبررسی متفاوت بود و بیشترین غلظت روی به ترتیب در ارقام زرین، الوند و شهریار مشاهده گردید.

علاوه بر عنصر روی، آهن نیز از عناصر ضروری برای رشد سلول‌های گیاهی، توسعه سلول‌های مختلف مربوط به فتوسنتز و تنفس می‌باشد که در تعدادی از آنزیم‌ها و عوامل کاهش‌دهنده در فرآیندهای اصلی مربوط به سوخت‌وساز گیاه شامل فتوسنتز، تنفس، حفاظت سلولی، تثبیت نیتروژن و بسیاری از روابط دیگر به‌عنوان عامل همراه نقش بازی می‌کند (Barton & Abadia, 2006). فرم-

1 - Cross and Back Cross

های مختلف کلاته و غیرآلی از کودهای حاوی آهن ازجمله $FeSO_4$، FeEDTA، FeDTPA، FeEDDHA، Fe-citrate و FeIDHA وجود دارند که برای اصلاح کلروز ناشی از کمبود آهن در گیاهان زراعی کاربرد دارند، با این‌وجود، اثربخشی ترکیبات آهن برای غلبه بر کمبود آن به میزان زیادی به پایداری آن‌ها، توانایی نفوذ از طریق کوتیکول برگ و قابلیت جابجایی آن‌ها متعاقب انتشار به درون بافت برگ دارد (Fernandez et al., 2006). مارالیان و همکاران (Maralian et al., 2009) اثر محلول‌پاشی آهن و روی در بهبود خصوصیات کیفی دانه سه رقم گندم را بررسی و گزارش نمودند که محلول‌پاشی آهن و روی باعث افزایش پروتئین، روی، آهن و منگنز دانه گردید. فنگ و همکاران (Fang et al., 2008) محلول‌پاشی روی، سلنیوم و آهن بر غلظت عناصر غذایی و عملکرد برنج را در چین مورد بررسی قراردادند؛ نتایج آن‌ها نشان داد محتوی عناصر غذایی روی، سلنیوم و آهن در دانه برنج در شرایط محلول‌پاشی روی افزایش یافت.

کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای در ساقه به‌عنوان مجموع کربوهیدرات‌های غیر ساختاری یا کربوهیدرات‌های محلول ساقه شناخته‌شده و از کربوهیدرات‌های ساختاری موجود در دیواره سلولی متمایزند. توانایی ذخیره کربوهیدرات در ساقه و کارایی انتقال این ذخایر به دانه، دو جزء تأثیرگذار بر مقدار تخمینی سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه هستند (Ehdaie et al., 2006). اختلاف بین وزن خشک یا محتوای کربوهیدرات محلول ساقه در مرحله گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیکی از روش‌های تخمین میزان انتقال ذخایر ساقه به دانه است (Ehdaie et al., 2006). بنابر گزارش همایون (Homayoun, 2011)، میزان انتقال مجدد ذخایر ساقه در شرایط تنش به‌طور معنی‌داری بیشتر از شرایط مساعد است. نتایج تحقیقات ماشی و گالشی (Mashi & Galeshi, 2006) روی جو نشان داد زمانی که گیاه از ابتدای رشد خود تحت تأثیر شوری قرار گرفت، عملکرد دانه کاهش یافت و در این شرایط سهم انتقال مجدد ذخایر ساقه 20 درصد وزن دانه بوده که در مقایسه با تیمار شاهد 10 درصد افزایش یافت. نتایج سیدشریفی و کمری (Seyed Sharifi & Kamari, 2015) نیز نشان داد که با افزایش روی، انتقال مجدد از کل اندام هوایی و از ساقه به دانه کاهش یافت به‌طوری‌که کم‌ترین مقادیر آن‌ها به محلول‌پاشی یک گرم در لیتر نانو اکسید روی و بیشترین آن‌ها به عدم محلول‌پاشی تعلق داشت.

افزایش غلظت‌های آهن و روی، امری ضروری در بهبود سلامت غذایی جمعیت ایران و دیگر کشورهاست. متأسفانه مطالعات در زمینه‌ی اثربخشی فرم‌های مختلف روی و آهن بر کیفیت دانه ارقام مختلف گندم و تأثیر آن‌ها بر انتقال مجدد ماده خشک ناچیز هستند. با توجه به مطالب ذکرشده، هدف اصلی از این آزمایش، بررسی محلول‌پاشی آهن و روی از فرم‌های مختلف بر واکنش چند رقم گندم نان قدیمی و جدید بوده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی تأثیر محلول‌پاشی فرم‌های مختلف عناصر ریزمغذی روی و آهن بر انتقال مجدد ماده خشک و غلظت برخی عناصر دانه در ارقام قدیم و جدید گندم نان، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در دو منطقه (منطقه امیرآباد واقع در کیلومتر 5 جاده بیرجند-کرمان با عرض جغرافیایی 32 درجه و 56 دقیقه شمالی، طول جغرافیایی 59 درجه و 13 دقیقه شرقی، ارتفاع 1480 متر از سطح دریا و منطقه محمدیه واقع در کیلومتر 20 جاده بیرجند- کرمان با عرض جغرافیایی 32 درجه و 52 دقیقه شمالی، طول جغرافیایی 59 درجه و 12 دقیقه شرقی، ارتفاع 1491 متر از سطح دریا) با خصوصیات خاک متفاوت در سال زراعی 1395-1394 انجام گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک دو منطقه مورد بررسی در جدول 1 ارائه گردیده است.

هر دو مزرعه محل اجرای آزمایش در سال قبل آیش بودند. ارقام مورداستفاده در این آزمایش شامل چهار رقم روشن و بک‌کراس روشن (ارقام قدیمی)، بم و افق (ارقام جدید) بودند. مصرف روی در سه سطح شامل شاهد (محلول‌پاشی با آب آبیاری)، و محلول‌پاشی سولفات‌روی ($ZnSO_4.7H_2O$) و کلات‌روی (ZeEDTA) و مصرف آهن نیز در سه سطح شامل شاهد (محلول‌پاشی با آب آبیاری) و محلول‌پاشی سولفات‌آهن ($FeSO_4.7H_2O$) و کلات‌آهن (FeEDDHA) انجام شد. تیمارهای محلول‌پاشی معادل 2/5 کیلوگرم در هکتار از منابع ذکرشده بودند.لازم به ذکر است اسیدیته محلول‌های موردنظر جهت محلول‌پاشی در هر منطقه، با استفاده از NaOH یک‌دهم نرمال (برای سولفات‌روی و سولفات‌آهن در هر دو منطقه)، HCl یک‌دهم نرمال (برای کلات‌روی و کلات‌آهن در منطقه محمدیه) و H_2SO_4 یک‌دهم نرمال (برای کلات‌روی و کلات‌آهن در منطقه امیرآباد) خنثی گردید.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیائی خاک مناطق مورد بررسی

Table 1- The results of soil physiochemical properties for investigated regions

منطقه Region	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	فسفر P	پتاسیم K	کربن C	ماده آلی OM	روی Zn (ppm)	آهن Fe (ppm)
		%						%				
Amirabad	60.9	18	21.1	Sandy- Clay Loam	8.13	10.8	30	184	0.09	0.15	0.84	2.81
Mohamadieh	38	42	20	Loam	7.6	4.4	30	140	0.31	0.54	1.16	4.36

نمونه‌برداری از عمق 30-0 سانتیمتری خاک محل‌های آزمایش برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و میزان موردنیاز کودهای اوره، سولفات‌پتاسیم و سوپرفسفات‌تریپل انجام شد. عملیات تهیه بستر شامل شخم پائیزه، دیسک و لولر در اوایل مهر ماه انجام گردید. کاشت به کمک دستگاه بذرکار آلمانی مخصوص آزمایش‌های غلات روی دو پشته (هر پشته 3 ردیف به فاصله 20 سانتی‌متر) و به طول 5 متر به مساحت 6 مترمربع با فاصله بین تکرارها 1/5 متر انجام گردید. کاشت در هر دو منطقه در سال زراعی 1395-1394 و در تاریخ‌های 16 و 17 آبان انجام گردید. میزان بذر برای کاشت 500 دانه در مترمربع و بر اساس وزن هزار دانه ارقام موردبررسی منظورشد. دلیل انتخاب ارقام ذکرشده، سطح زیرکشت بالای آن‌ها در مزارع استان خراسان جنوبی بود. علف‌های هرز در اواسط فروردین ماه به‌صورت دستی وجین شدند. محلول‌پاشی تیمارهای موردنظر در دو مرحله شامل ساقه‌روی و ابتدای گلدهی و جهت جلوگیری از سوختگی برگ‌ها، صبح زود انجام شد.

صفات اندازه‌گیری شده شامل میزان انتقال مجدد ماده خشک، کارایی انتقال مجدد، سهم انتقال مجدد، میزان فتوسنتز جاری، کارایی فتوسنتز جاری و سهم فتوسنتز جاری، غلظت روی، آهن، فسفر و نیتروژن دانه بودند. به‌منظور اندازه‌گیری انتقال مجدد ماده خشک به دانه، از هر کرت آزمایشی تعداد 10 بوته کامل در مرحله گرده‌افشانی و همچنین همین تعداد بوته در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی به‌طور تصادفی از سطح خاک برداشت و نمونه‌ها در دمای 70 درجه سانتی‌گراد به مدت 72 ساعت در آون خشک و وزن کل بوته، ساقه و دانه توزین و میانگین‌گیری شدند و شاخص‌های میزان، کارایی و سهم انتقال مجدد ماده خشک و فتوسنتز جاری با استفاده از روابط زیر محاسبه گردیدند (Papakosta & Gagianas, 1991):

میزان انتقال مجدد (گرم در بوته) =
وزن خشک اندام های رویشی در مرحله گرده افشانی (گرم در بوته) −
وزن خشک اندام های رویشی در مرحله رسیدگی (گرم در بوته)

کارایی انتقال مجدد (گرم بر گرم) = میزان انتقال مجدد (گرم در بوته) / وزن خشک اندام های رویشی در مرحله گرده افشانی (گرم در بوته)

سهم انتقال مجدد (درصد) = میزان انتقال مجدد (گرم در بوته) / وزن دانه در بوته (گرم در بوته) × 100

میزان فتوسنتز جاری (گرم در بوته) = وزن دانه در بوته (گرم در بوته) − میزان انتقال مجدد (گرم در بوته)

کارایی فتوسنتز جاری (گرم بر گرم) = میزان فتوسنتز جاری (گرم در بوته) / وزن خشک اندام های رویشی در مرحله گرده افشانی (گرم در بوته)

سهم فتوسنتز جاری (درصد) = سهم انتقال مجدد − 100

برای اندازه‌گیری عناصر دانه، ابتدا دانه‌ها را به‌دقت با آب‌مقطر شستشو داده و به مدت 72 ساعت در دمای 72 درجه سانتی‌گراد در آون تهویه‌دار خشک و سپس دانه‌های هر تیمار بعد از آسیاب‌کردن به‌خوبی باهم مخلوط شدند. برای اندازه‌گیری عناصر ذکرشده، دانه‌ها

به روش خشک‌سوزانی هضم گردیدند (Westerman, 1990). درصد نیتروژن کل به روش میکروکجلدال تعیین شد. جهت تعیین درصد فسفر در نمونه‌ها از روش هضم در بالن ژوژه با اسیدسولفوریک، اسیدسالیسیلیک، و آب‌اکسیژنه استفاده شد. پس از تهیه عصاره، با روش نورسنجی (رنگ زرد وانادات‌مولیبدات) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر میزان فسفر گیاه اندازه‌گیری گردید (Cottenie, 1980). جهت تعیین غلظت روی و آهن، مقدار یک گرم از نمونه پودر شده در کوره الکتریکی در دمای 550 درجه سانتی‌گراد خاکستر و در HCl نرمال حل و به حجم 50 میلی‌لیتر رسانده شده و غلظت روی و آهن موجود به‌وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (Waling et al., 1989).

داده‌های جمع‌آوری‌شده از دو منطقه با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 و پس از انجام آزمون بارتلت، جهت اطمینان از همگنی واریانس خطای صفات موردبررسی، بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد تجزیه مرکب در مکان قرارگرفته و مقایسه میانگین‌ها نیز بر اساس آزمون LSD محافظت‌شده در سطح احتمال 5٪ انجام گردید.

نتایج و بحث

غلظت روی در دانه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که غلظت روی در دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر منطقه، رقم، محلول‌پاشی روی و همچنین برهمکنش منطقه در رقم در روی در آهن قرار گرفت (جدول 2). مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن بود که غلظت روی دانه در منطقه امیرآباد نسبت به محمدیه به میزان 25/6 درصد کم‌تر بود (جدول 3) که این موضوع را می‌توان به شوری و اسیدیته بالاتر خاک منطقه امیرآباد نسبت داد زیرا در این شرایط جذب روی از خاک به‌طور قابل‌توجهی کاهش پیدا می‌کند (Malakouti, 2007). کاهش غلظت روی در دانه در این شرایط می‌تواند به دلیل کاهش رشد ریشه و محدودیت در جذب و انتقال آن به اندام هوایی و دانه باشد. دو رقم روشن و بک‌کراس روشن به‌طور مشترک در گروه آماری برتر قرارگرفته و ارقام بم و افق نیز غلظت روی کمتری در دانه داشتند (جدول 3). محققین دیگر نیز تنوع ژنوتیپی قابل‌توجهی را در غلظت روی دانه گزارش داده‌اند (Chen et al., 2010) که این تنوع حاکی از پتانسیل بالا برای غنی‌سازی‌زیستی دانه گندم با روی از طریق اصلاح‌نباتات است. در رقمی با عملکرد کم‌تر، روی جذب‌شده توسط گیاه در تعداد دانه‌های کم‌تری در مقایسه با ارقام پرعملکرد (بم و افق) توزیع می‌شود و بنابراین غلظت بیشتری از روی در دانه‌ی ارقام با عملکرد کم‌تر (روشن و بک‌کراس روشن) مشاهده می‌شود. محلول‌پاشی فرم‌های مختلف روی منجر به افزایش معنی‌دار غلظت این عنصر در دانه گردید به‌طوری‌که محلول‌پاشی سولفات‌روی با میانگین 50/4 پی‌پی‌ام باعث افزایش 18 درصدی غلظت روی در دانه گردید؛ محلول‌پاشی فرم کلاته روی نیز باعث افزایش 6/1 درصدی این عنصر در دانه شد (جدول 3). بررسی‌ها در گندم حاکی از افزایش تا سه برابری غلظت روی دانه در شرایط محلول‌پاشی در مقایسه با شاهد بوده است (Karim et al., 2012). روی به‌کاررفته به‌صورت برگی به‌راحتی جذب‌شده و از طریق آوند آبکش به دانه منتقل می‌شود که این موضوع از طریق کاربرد روی نشان‌دار در گندم تأییدشده است (Haslett et al., 2001). این نتایج به‌خوبی نشان می‌دهد که غلظت روی در دانه گندم را می‌توان از طریق محلول‌پاشی روی به‌ویژه در خاک‌های دچار کمبود افزایش داد. یک دلیل این امر می‌تواند این باشد که روی به‌کاررفته از طریق محلول‌پاشی به‌آسانی از طریق آوند آبکش از اندام‌های رویشی به اندام‌های در حال نمو زایشی نظیر دانه انتقال داده می‌شوند (Ozturk et al., 2006). با این‌وجود، درصد افزایش غلظت روی از طریق محلول‌پاشی آن به‌خصوص در منطقه محمدیه کم‌تر از گزارش‌های پیشین بود (Cakmak, 2008)، به‌طوری‌که این میزان افزایش در شرایط محلول‌پاشی سولفات‌روی در منطقه محمدیه معادل 15/5 و در منطقه امیرآباد معادل 21/6 درصد در مقایسه با تیمار شاهد بود (جدول 4). مقدار روی در خاک منطقه محمدیه برای تولید غلظت نسبتاً بالای آن در دانه کافی بود درحالی‌که خاک منطقه مورد آزمایش در امیرآباد حاوی مقدار روی کم‌تری بوده و درنتیجه افزایش روی در دانه در این منطقه بیشتر بود. از طرفی، محلول‌پاشی فرم سولفاته روی در این آزمایش نتایج بهتری در افزایش غلظت روی در دانه نشان داد.وای و همکاران (Wei et al., 2012) گزارش نمودند که از میان فرم‌های مختلف موردبررسی روی، محلول‌پاشی Zn-AA و $ZnSO_4$ در بهبود غلظت روی در دانه برنج مؤثرتر از Zn-EDTA و Zn-Citrate بودند. کودهای با وزن مولکولی کم‌تر نظیر Zn-AA و $ZnSO_4$ می‌توانند در شرایط محلول‌پاشی راحت‌تر به داخل برگ نفوذ کرده و درنتیجه مقدار روی بیشتری به دانه‌ها منتقل و تجمع خواهد گرد (Stacey & Oosterhuis, 2007).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات عناصر دانه و انتقال مجدد ماده‌خشک گندم در شرایط محلول‌پاشی روی و آهن

Table 2- Analysis of variance for traits of grain nutrients and dry matter of wheat remobilization under foliar application of Zn and Fe

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین‌مربعات Mean of squares									
		روی دانه Grain Zn	آهن دانه Grain Fe	فسفر دانه Grain P	نیتروژن دانه Grain N	میزان انتقال مجدد Remobilization amount	کارایی انتقال مجدد Remobilization efficiency	سهم انتقال مجدد Remobilization ratio	فتوسنتز جاری Current photosynthesis	کارایی فتوسنتز جاری Photosynthesis efficiency	سهم فتوسنتز جاری Photosynthesis ratio
منطقه Location	1	9920.07**	8033.54**	0.0331*	**۱/۱۶۶	5.54**	2.70**	13779.19**	19.32**	3.82**	13779.19**
بلوک داخل منطقه r(Location)	4	26.50	13.91	0.0021	0.047	0.22	0.06	468.48	0.51	0.12	468.48
رقم Cultivar	3	189.43**	294.32*	0.0039^{ns}	0.209**	0.35**	0.16**	404.26^{ns}	0.59^{ns}	0.76**	404.26^{ns}
روی Zn	2	1104.22**	74.67^{ns}	0.0099**	0.116**	0.16^{ns}	0.04^{ns}	361.50^{ns}	0.43^{ns}	0.22^{ns}	361.50^{ns}
آهن Zn	2	53.55^{ns}	861.24**	0.0053*	0.040^{ns}	0.02^{ns}	0.01^{ns}	38.27^{ns}	0.13^{ns}	0.04^{ns}	38.27^{ns}
رقم×روی Cultivar×Zn	6	37.40^{ns}	37.21^{ns}	0.0024^{ns}	0.071**	0.06^{ns}	0.01^{ns}	217.44^{ns}	0.58^{ns}	0.35*	217.44^{ns}
رقم×آهن Cultivar×Fe	6	46.85^{ns}	110.24^{ns}	0.0001^{ns}	0.045^{ns}	0.11^{ns}	0.02^{ns}	170.30^{ns}	0.11^{ns}	0.15^{ns}	170.30^{ns}
روی×آهن Zn×Fe	4	12.22^{ns}	267.49*	0.0028^{ns}	0.100**	0.16^{ns}	0.02^{ns}	487.80*	0.65^{ns}	0.48*	478.80*
منطقه×رقم Location×Cultivar	3	5.28^{ns}	20.70^{ns}	0.0034^{ns}	0.031^{ns}	0.12^{ns}	0.02^{ns}	272.10^{ns}	0.42^{ns}	0.48*	272.10^{ns}
منطقه×روی Location×Zn	2	0.31^{ns}	5.93^{ns}	0.0014^{ns}	0.016^{ns}	0.10^{ns}	0.01^{ns}	109.57^{ns}	0.15^{ns}	0.04^{ns}	109.57^{ns}
منطقه×آهن Location×Fe	2	15.24^{ns}	4.80^{ns}	0.0001^{ns}	0.005^{ns}	0.15^{ns}	0.03^{ns}	490.15*	0.80^{ns}	0.63*	490.15*
منطقه×رقم×روی Location×Cultivar×Zn	6	17.20^{ns}	95.93^{ns}	0.0002^{ns}	0.092**	0.04^{ns}	0.006^{ns}	102.39^{ns}	0.21^{ns}	0.11^{ns}	102.39^{ns}
منطقه×رقم×آهن Location×Cultivar×Fe	6	23.27^{ns}	202.45*	0.0004^{ns}	0.062*	0.05^{ns}	0.01^{ns}	163.99^{ns}	0.37^{ns}	0.19^{ns}	163.99^{ns}
منطقه×روی×آهن Location×Zn×Fe	4	21.28^{ns}	251.93*	0.0007^{ns}	0.031^{ns}	0.02^{ns}	0.004^{ns}	165.71^{ns}	0.45^{ns}	0.24^{ns}	165.71^{ns}
منطقه×رقم×روی×آهن Location×Cultivar×Zn×Fe	24	50.42*	210.90**	0.0040**	0.166**	0.02^{ns}	0.007^{ns}	90.31^{ns}	0.20^{ns}	0.12^{ns}	90.31^{ns}
خطای آزمایش Experiment error	140	30.95	83.58	0.0016	0.024	0.07	0.02	153.52	0.27	0.15	153.52
ضریب تغییرات Coefficient variation (%)	-	12.07	16.08	28.21	8.28	47.22	41.53	49.19	28.08	33.66	16.56

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns عدم معنی‌داری می‌باشد.

* and **: are significantly different at α=0.05 and α=0.01, respectively and ns is non-significant

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثرات منطقه، رقم، روی و آهن بر صفات موردبررسی گندم

Table 3- Mean comparison results for effects of location, cultivar, Zn and Fe on investigated traits of wheat

تیمار Treatmen	روی دانه Grain Zn (ppm)	آهن دانه Grain Fe (ppm)	فسفر دانه Grain P (%)	نیتروژن دانه Grain N (%)	میزان انتقال مجدد Remobilization amount (g.plant^{-1})	کارایی انتقال مجدد Remobilization efficiency	سهم انتقال مجدد Remobilization ratio (%)	فتوسنتز جاری Current photosynthesis (g.plant^{-1})	کارایی فتوسنتز جاری Photosynthesis efficiency	سهم فتوسنتز جاری Photosynthesis ratio (%)
منطقه Location										
محمدیه Mohammadieh	52.8 ^{a*}	62.95 ^{a}	0.158 ^{a}	1.94 ^{a}	0.42 ^{b}	0.24 ^{b}	17.20 ^{b}	2.16 ^{a}	1.29 ^{a}	82.80 ^{a}
امیرآباد Amirabad	39.33 ^{b}	50.75 ^{b}	0.134 ^{b}	1.80 ^{b}	0.74 ^{a}	0.46 ^{a}	33.17 ^{a}	1.56 ^{b}	1.03 ^{b}	66.83 ^{b}
رقم Cultivar										
روشن Roshan	47.67 ^{a}	56.51 ^{b}	0.156 ^{a}	1.94 ^{a}	0.50 ^{b}	0.29 ^{c}	23.88 ^{b}	1.75 ^{b}	1.01 ^{c}	76.12 ^{a}
بک‌کراس روشن R. Backcross	47.71 ^{a}	60.10 ^{a}	0.147 ^{ab}	1.80 ^{b}	0.53 ^{b}	0.32 ^{bc}	22.43 ^{b}	1.98 ^{a}	1.23 ^{ab}	77.57 ^{a}
بم Bam	44.03 ^{b}	56.25 ^{b}	0.135 ^{b}	1.90 ^{a}	0.59 ^{ab}	0.37 ^{ab}	25.64 ^{ab}	1.92 ^{ab}	1.28 ^{a}	74.36 ^{ab}
افق Ofogh	45.01 ^{b}	54.55 ^{b}	0.146 ^{ab}	1.84 ^{b}	0.69 ^{a}	0.42 ^{a}	28.79 ^{a}	1.79 ^{ab}	1.12 ^{bc}	71.21 ^{b}
محلول‌پاشی روی Zn foliar application										
آب آبیاری Irrigation water	42.66 ^{c}	56.49 ^{a}	0.158 ^{a}	1.83 ^{b}	0.63 ^{a}	0.38 ^{a}	27.77 ^{a}	1.77 ^{a}	1.10 ^{a}	72.23 ^{a}
سولفات‌روی $ZnSO_4.7H_2O$	50.37 ^{a}	58.00 ^{a}	0.134 ^{b}	1.91 ^{a}	0.54 ^{a}	0.33 ^{a}	23.85 ^{a}	1.89 ^{a}	1.17 ^{a}	76.15 ^{a}
کلات‌روی Zn-EDTA	45.28 ^{b}	56.06 ^{a}	0.146 ^{ab}	1.86 ^{ab}	0.56 ^{a}	0.34 ^{a}	23.93 ^{a}	1.92 ^{a}	1.21 ^{a}	76.07 ^{a}
محلول‌پاشی آهن Fe foliar application										
آب آبیاری Irrigation water	47.07 ^{a}	53.44 ^{c}	0.154 ^{a}	1.85 ^{a}	0.60 ^{a}	0.36 ^{a}	25.44 ^{a}	1.82 ^{a}	1.15 ^{a}	74.56 ^{a}
$FeSO_4.7H_2O$	45.42 ^{a}	60.35 ^{a}	0.137 ^{b}	1.89 ^{a}	0.56 ^{a}	0.34 ^{a}	24.36 ^{a}	1.91 ^{a}	1.19 ^{a}	75.64 ^{a}
کلات‌آهن Fe-EDDHA	45.81 ^{a}	56.76 ^{b}	0.147 ^{ab}	1.87 ^{a}	0.58 ^{a}	0.35 ^{a}	25.75 ^{a}	1.85 ^{a}	1.14 ^{a}	74.25 ^{a}

* در هر ستونو برای هر جزء میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند

*Means in each column and for each component followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using protected LSD Test

جدول ٤- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل منطقه در رقم، منطقه در روی و منطقه در آهن بر گندم

Table 4- Mean comparison results for interaction effects of location in cultivar, location in Zn and location in Fe on wheat

تیمار Treatment: منطقه Location	تیمار Treatment: رقم Cultivar	روی دانه Grain Zn (ppm)	آهن دانه Grain Fe (ppm)	فسفر دانه Grain P (%)	نیتروژن دانه Grain N (%)	میزان انتقال مجدد Remobilization amount ($g.plant^{-1}$)	کارایی انتقال مجدد Remobilization efficiency	سهم انتقال مجدد Remobilization ratio (%)	فتوسنتز جاری Current photosynthesis ($g.plant^{-1}$)	کارایی فتوسنتز جاری Photosynthesis efficiency	سهم فتوسنتز جاری Photosynthesis ratio (%)
محمدیه Mohammadieh	روشن Roshan	54.78 a	61.97 ab	0.173 a	2.03 a	0.35 d	0.18 d	15.4 c	2.04 ab	1.08 bc	84.6 a
	بک‌کراس روشن R. Backcross	54.44 a	66.07 a	0.163 ab	1.88 bc	0.35 d	0.20 d	13.8 c	2.31 a	1.41 a	86.2 a
	بم Bam	50.40 b	63.20 ab	0.151 abc	1.94 b	0.38 d	0.24 d	15.5 c	2.31 a	1.52 a	84.5 a
	افق Ofogh	51.88 ab	60.56 b	0.146 bc	1.92 bc	0.59 c	0.33 c	24.0 b	1.98 b	1.16 b	76.0 b
امیرآباد Amirabad	روشن Roshan	40.54 cd	51.04 cd	0.139 cd	1.84 c	0.66 bc	0.41 bc	32.3 a	1.47 c	0.94 c	67.7 c
	بک‌کراس روشن R. Backcross	40.97 c	54.13 c	0.130 cd	1.72 d	0.71 abc	0.44 ab	31.0 a	1.64 c	1.06 bc	69.0 c
	بم Bam	37.65 d	49.30 cd	0.120 d	1.87 bc	0.80 a	0.50 a	35.7 a	1.53 c	1.03 bc	64.3 c
	افق Ofogh	38.14 cd	48.54 d	0.145 bc	1.76 d	0.78 ab	0.50 a	33.6 a	1.61 c	1.08 bc	66.4 c
منطقه Location	محلول‌پاشی روی Zn foliar application										
محمدیه Mohammadieh	آب آبیاری Irrigation water	49.50 b	62.91 a	0.173 a	1.89 bc	0.44 c	0.25 c	18.4 c	2.10 a	1.26 ab	81.6 a
	سولفات‌روی $ZnSO_4.7H_2O$	57.16 a	63.86 a	0.149 b	1.99 a	0.43 c	0.24 c	16.8 c	2.21 a	1.30 a	83.2 a
	کلات روی Zn-EDTA	51.98 b	62.08 a	0.153 b	1.95 ab	0.39 c	0.23 c	16.5 c	2.16 a	1.32 a	83.5 a
امیرآباد Amirabad	آب آبیاری Irrigation water	35.83 e	50.07 b	0.142 b	1.78 d	0.82 a	0.50 a	37.2 a	1.44 b	0.94 c	62.8 c
	سولفات‌روی $ZnSO_4.7H_2O$	43.57 c	52.14 b	0.120 c	1.84 cd	0.66 b	0.42 b	30.9 b	1.57 b	1.04 c	69.1 b
	کلات روی Zn-EDTA	38.57 d	50.05 b	0.139 bc	1.78 d	0.73 ab	0.46 ab	31.4 ab	1.67 b	1.10 bc	68.6 bc
منطقه Location	محلول‌پاشی آهن Fe foliar application										
محمدیه Mohammadieh	آب آبیاری Irrigation water	53.48 a	59.83 b	0.166 a	1.93 a	0.48 b	0.27 b	19.7 b	2.02 b	1.19 bc	80.3 b
	سولفات‌آهن $FeSO_4.7H_2O$	52.05 a	66.28 a	0.148 abc	1.97 a	0.35 b	0.20 c	13.5 c	2.32 a	1.42 a	86.5 a
	کلات‌آهن Fe-EDDHA	53.10 a	62.73 ab	0.161 ab	1.93 a	0.43 b	0.24 bc	18.3 bc	2.14 ab	1.27 ab	81.7 ab
امیرآباد Amirabad	آب آبیاری Irrigation water	40.66 b	47.04 d	0.142 bcd	1.77 b	0.72 a	0.46 a	31.1 a	1.62 c	1.11 bcd	68.9 c
	سولفات‌آهن $FeSO_4.7H_2O$	38.80 b	54.42 c	0.126 d	1.82 b	0.77 a	0.48 a	35.2 a	1.50 c	0.96 d	64.8 c
	کلات‌آهن Fe-EDDHA	38.52 b	50.79 cd	0.133 cd	1.81 b	0.73 a	0.45 a	33.2 a	1.57 c	1.01 cd	66.8 c

* در هر ستون و برای هر جزء میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند

*Means in each column and for each component followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using protected LSD Test

غلظت آهن در دانه

نتایج نشان داد که غلظت آهن دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر منطقه، رقم، محلول‌پاشی آهن و برهمکنش‌های روی در آهن، منطقه در رقم در آهن، منطقه در روی در آهن و منطقه در رقم در روی در آهن قرار گرفت (جدول 2). مقدار آهن موجود در دانه در منطقه امیرآباد به میزان 19/4 درصد در مقایسه با محمدیه کم‌تر بود (جدول 3). در خاک‌های شور، مقدار عناصر کم‌مصرف در خاک کم می‌باشد و گیاهان در این شرایط معمولاً با کمبود این عناصر مواجه‌اند. ماتا و همکاران (Mamta et al., 2008) گزارش کردند که با افزایش سطح شوری، گیاه دچار کمبود آهن می‌شود. بیشترین غلظت آهن دانه در بین ارقام موردبررسی با میانگین 60/1 پی‌پی‌ام به رقم بک‌کراس روشن و کم‌ترین آن با 54/5 پی‌پی‌ام به رقم افق اختصاص داشت (جدول 3). زیمرمن و هارل (Zimmermann & Hurrell, 2002) گزارش نمودند که رقم نه‌تنها می‌تواند بر مورفولوژی بذر تأثیرگذار باشد بلکه بر میزان عناصر غذایی نیز تأثیر می‌گذارد. طبیعتاً بهبود عناصر غذایی در دانه، از طریق انتخاب ارقام مناسب برای مناطق و محیطهای خاص امکان‌پذیر است. محلول‌پاشی فرم‌های مختلف آهن منجر به افزایش معنی‌دار غلظت این عنصر در دانه گردید و مقدار آن از 53/4 پی‌پی‌ام در تیمار شاهد به 60/3 و 56/8 پی‌پی‌ام به ترتیب در تیمارهای محلول‌پاشی سولفات و کلات آهن افزایش یافت (جدول 3). هی و همکاران (He et al., 2013) نیز طی بررسی محلول‌پاشی فرم‌های مختلف آهن در برنج گزارش نمودند که محلول‌پاشی فرم‌های مختلف آهن به‌صورت $FeSO_4$، EDTA-FeNa، HEDTA-Fe و DTPA-Fe به ترتیب باعث افزایش 11، 6، 15 و 20 درصدی غلظت آهن در دانه برنج گردید. شنکر و چن (Shenker & Chen, 2005) اشاره داشته‌اند که یکی از مشکلات درزمینه موفقیت محلول‌پاشی آهن، نفوذ اندک آن از طریق برگ است. حلالیت بالا و وزن مولکولی کم، عواملی کلیدی در افزایش جذب برگی هستند. با توجه به اینکه وزن مولکولی سولفات‌آهن در مقایسه با فرم کلاته آن کم‌تر است، مقاومت کم‌تر در ورود آن به برگ این اجازه را به فرم سولفات‌آهن می‌دهد که راحت‌تر جذب گیاه شود. از طرف دیگر، انتقال آهن از غشای پلاسمایی سلول، به احیای Fe^{3+} قبل از ورود به سیتوسول بستگی دارد و آهن به‌صورت Fe^{2+} جذب می‌شود (Fox et al., 1996) و درواقع از یک کانال ویژه در غشای پلاسمایی عبور می‌کند (Fox & Guerinot, 1998)؛ بنابراین دلیل جذب بیشتر آهن از منبع سولفات‌آهن می‌تواند شکل دو ظرفیتی آهن باشد درحالی‌که در منابع کلاته آهن، ابتدا آهن سه‌ظرفیتی باید به حالت دوظرفیتی احیاشده و سپس از غشای پلاسمایی عبور کند. نتایج برهمکنش روی در آهن حاکی از آن بود که بیشترین غلظت آهن دانه از تیمار توأم محلول‌پاشی سولفات‌آهن و عدم مصرف روی حاصل شد که بین این تیمار و محلول‌پاشی توأم سولفات‌روی و سولفات‌آهن و محلول‌پاشی توأم سولفات‌روی و کلات‌آهن اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت (جدول 5). رنگل و گراهام (Rengel & Graham, 1995) نیز گزارش کردند که بین آهن و روی یک برهمکنش منفی وجود دارد. نتایج برهمکنش منطقه در روی در آهن بر غلظت آهن حاکی از آن بود که بیشترین مقادیر آن در منطقه محمدیه از محلول‌پاشی سولفات‌آهن به‌تنهایی و عدم مصرف روی و در منطقه امیرآباد نیز از محلول‌پاشی توأم سولفات‌آهن در سطوح مختلف محلول‌پاشی روی حاصل شد (جدول نمایش داده نشده است). با افزایش عرضه روی و آهن، توانایی گیاه برای جذب عناصر غذایی در شرایط شور افزایش‌یافته است. تحت شرایط شوری، ریشه گندم به حد کافی رشد نمی‌کند و قادر نیست به‌اندازه کافی عناصر غذایی را جذب نماید لذا در مورد عناصر کم‌مصرف توصیه نمودند که باید کمی بیشتر از شرایط غیر شور مصرف شوند. برهمکنش منطقه در رقم در آهن نیز نشان داد که به‌طورکلی در منطقه محمدیه غلظت آهن دانه بیشتر از امیرآباد بود و در این میان ارقام بک‌کراس روشن، بم و افق در شرایط محلول‌پاشی سولفات‌آهن و رقم روشن در شرایط محلول‌پاشی کلات‌آهن، از مقادیر آهن بیشتری در دانه در این منطقه برخوردار بودند (جدول نمایش داده نشده است). واکنش غلظت آهن در دانه به محلول‌پاشی آن، وابسته به رقم بود. گزارش‌شده است که ارقام مختلف از لحاظ واکنش به محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی اختلاف زیادی در افزایش غلظت عناصر دانه دارند (Wu et al., 2010). بنابراین با انتخاب ارقام مناسبی که توانایی بیشتری در جذب برگی و تجمع عناصر در دانه دارند می‌توان تأثیر محلول‌پاشی بر غلظت عناصر دانه را افزایش داد.

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل روی در آهن بر گندم

Table 5- Mean comparison results for interaction effects of Zn in Fe on wheat

محلول‌پاشی روی Zn foliar application	محلول‌پاشی آهن Fe foliar application	روی دانه Grain Zn (ppm)	آهن دانه Grain Fe (ppm)	فسفر دانه Grain P (%)	نیتروژن دانه Grain N (%)	میزان انتقال مجدد Remobilization amount ($g.plant^{-1}$)	کارایی انتقال مجدد Remobilization efficiency	سهم انتقال مجدد Remobilization ratio (%)	فتوسنتز جاری Current photosynthesis ($g.plant^{-1}$)	کارایی فتوسنتز جاری Photosynthesis efficiency	سهم فتوسنتز جاری Photosynthesis ratio (%)
آب آبیاری Irrigation water	آب آبیاری Irrigation water	43.88 bcd	51.50 d	0.170 a	1.75 c	0.74 a	0.43 a	32.2 a	1.59 c	0.97 c	67.8 c
	سولفات‌آهن $FeSO_4.7H_2O$	41.08 d	62.84 a	0.130 d	1.92 ab	0.59 ab	0.36 ab	25.9 ab	1.91 ab	1.19 abc	74.1 bc
	کلات‌آهن Fe-EDDHA	43.03 cd	55.13 cd	0.162 ab	1.87 ab	0.56 b	0.34 ab	25.2 abc	1.82 abc	1.14 bc	74.8 abc
سولفات‌روی $ZnSO_4.7H_2O$	آب آبیاری Irrigation water	51.12 a	52.42 d	0.146 bcd	1.88 a	0.57 b	0.35 ab	25.5 abc	1.78 bc	1.09 bc	74.5 abc
	سولفات‌آهن $FeSO_4.7H_2O$	50.27 a	61.63 ab	0.126 d	1.88 a	0.51 b	0.31 b	22.0 bc	1.95 ab	1.25 ab	78.0 ab
	کلات‌آهن Fe-EDDHA	49.71 a	59.95 abc	0.139 bcd	1.92 a	0.55 b	0.33 b	24.1 bc	1.94 ab	1.17 abc	75.9 ab
کلات روی Zn-EDTA	آب آبیاری Irrigation water	46.22 b	56.40 cd	0.157 abc	1.87 ab	0.48 b	0.32 b	18.6 c	2.09 a	1.38 a	81.4 a
	سولفات‌آهن $FeSO_4.7H_2O$	44.93 bc	56.59 bcd	0.147 bcd	1.94 a	0.58 ab	0.34 b	25.3 abc	1.86 abc	1.13 bc	74.7 abc
	کلات‌آهن Fe-EDDHA	44.69 bc	55.20 cd	0.136 cd	1.79 bc	0.62 ab	0.37 ab	28.0 ab	1.80 abc	1.12 bc	72.0 bc

در هر ستون و برای هر جزء میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند

Means in each column and for each component followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using protected LSD Test

منابع

Alloway, B.J. 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition. Int. Zinc Assoc. (IZA), Belgium, 128p.

Barton, L.L., and Abadia, J. 2006. Iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms. Dordrecht: Springer. Dordrecht, The Netherlands. 483p.

Blum, A. 1998. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilization. Euphytica 100: 77-83.

Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? Plant and Soil 302: 1-17.

Chen, Z.H., Tian, X.H., Yang, X.W., Lu, X.C., Gale, W. J., and Cao, Y.X. 2010. Comparison of zinc efficiency among winter wheat genotypes cultured hydroponically in chelator-buffered solutions. Journal of Plant Nutrition 33: 1612-1624.

Cottenie, A. 1980. Soil and Plant Testing. FAO Soils Bulletin, No. 38/2, p. 94-100.

Ehdaie, B., Alloush, G.A., Madore, M.A., and Waines, J.G. 2006. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat. I. Postanthesis changes in internodes dry matter. Crop Science 46: 735-746.

Fang, Y., Wang, L., Xin, Z., Zhao, L., A, X., and Hu, Q. 2008. Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in china. Journal of Agricultural and Food Chemistry 56: 2079-2084.

Fatma, S., Shalabym, M.M., and Ratab, K.A. 2001. Wheat response to nitrogen and zinc fertilization under saline condition in calcareous soil. Soil Science, (kemet Group). www. wiz.uni-kassel.de/gear/symp2001/proceed2000/El-Shafie_Shalaby.pdf

Fernandez, V., Del Rio, V., Abadia, J., and Abadia, A. 2006. Foliar iron fertilization of peach (*Prunus persica* (L.) Batsch): effects of iron compounds, surfactants and other adjuvants. Plant and Soil 289: 239-252.

Fox, T.C., and Guerinot, M.L. 1998. Molecular biology of cation transport in plants. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Molecular Biology 49: 669-696.

Fox, T.C., Shaff, J.E., Grusak, M.A., Norvell, W.A., Chen, Y., Chaney, R.L., and Kochian, L.V. 1996. Direct measurement of 59Fe labeled Fe^{2+} influx in roots of pea using a chelator buffer system to control free Fe in solution. Plant Physiology 111: 93-100.

Garg, B.K., Kathju, S., Vyas, S.P., and Lahiri, A.N. 1990. Effect of saline water irrigation on tolerant and sensitive wheat varieties under disparate soil fertility conditions. Annals of Arid Zone 29: 179-189.

Gómez-Galera, S., Rojas, E., and Sudhakar, D. 2010. Critical evaluation of strategies for mineral fortification of staple food crops. Transgenic Research 19: 165-180.

Haslett, B.S., Reid, R.J., and Rengel, Z. 2001. Zinc mobility in wheat: uptake and distribution of zinc applied to leaves or roots. Annals of Botany 87 (3): 379-386.

He, W., Shohag, M.J.I., Wei, Y., Feng, Y., and Yang, X. 2013. Iron concentration, bioavailability, and nutritional quality of polished rice affected by different forms of foliar iron fertilizer. Food Chemistry 141: 4122-4126.

Homayoun, H. 2011. Remobilization of stem reserves in wheat varieties under normal and drought stress conditions. Advances in Environmental Biology 5: 1721-1724.

Karim, R., Zhang, Y., Zhao, R., Chen, X., Zhang, F., and Zou, C. 2012. Alleviation of drought stress in winter wheat by late foliar application of zinc, boron, and manganese. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 175: 142-151.

Khoshgoftarmanesh, A.H. 2007. Principles of plant nutrition. Publication of Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. 462 p. (In Persian)

Malakouti, M.G., Keshavarz, P., Sadat, S., and Khaladbarin, B. 2003. Nutrition of plants under saline conditions. Sena Publications, Tehran. Iran. 246 p. (In Persian)

Malakouti, M.J. 2007. Zinc is a neglected element in the life cycle of plants. Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology 1 (1): 1-12.

Mamta, J.B., Patel, A.D., Bhatti, P.M., and Pandey, A.N. 2008. Effect of soil salinity on growth, water status and nutrient accumulation in seedlings of *Ziziphus mauitiana* (Rhamnaceae). Journal of Fruit and Ornamental Plant Research 16: 383-401.

Maralian, H., Didar Taleshmikail, R., Shahbazi, K., and Torabi Giglou, M. 2009. Study of the Effects of Foliar Application of Fe and Zn on Wheat Quality and Quantity Properties. Iranian Agricultural Research 9 (5): 47-60. (In Persian with English Summary)

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher Plants. 2nd Ed. Academic Press. Stutgart, Germany 890 pp.

Mashi, A., and Galeshi, S. 2006. The Effect of salinity on the yield and protein percentage of hull-less barley (*Hordeum vulgare*). Agricultural Sciences and Natural Resources Bulletin of Khazar 12: 11-23.

Mirtalebi, H., Hosseini, M., Khajepoor, M.R., and Soleimani, A. 2013. Effects of zinc sulfate on yield, yield components, zinc and protein content of three winter wheat cultivars in the Eghlid of Fars province. Journal of Water and Soil Conservation 19 (3): 185-199. (In Persian with English Summary)

Ozturk, L., Yazici, M.A., Yucel, C., Torun, A., Cekic, C., Bagic, A., Ozken, H., Braun, H., Sayers, Z., and Cakmak, I. 2006. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. Plant Physiology128: 144-152.

Papakosta, D.K., and Gagianas, A.A. 1991. Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and losses for Mediterranean wheat during grain filling. Agronomy Journal 83: 864- 870.

Pirdashti, H., Tahmasbi Sarvastani, Z., Nemat Zadeh, G., and Esmaeil, A. 2004. Study of dry matter and nitrogen remobilization of different rice cultivars in drought stress condition. In: Proceeding of 8thCongress of Agronomy and Plant Breeding, Guilan University, Iran, 24-26 August 2004, p 148. (In Persian with English Summary)

Rengel, Z., and Graham, R.D. 1995. Importance of seed Zn content for wheat growth on zinc deficient soil. II. Grain Yield. Plant and Soil 173: 267-274.

Sadeghzadeh, B. 2013. A review of zinc nutrition and plant breeding. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 13 (4): 905-927.

Sadeghzadeh, B., Rengel, Z., and Li, C. 2009. Differential zinc efficiency of barley genotypes grown in soil and chelator-buffered nutrient solution. Journal of Plant Nutrition 32 (10): 1744-1767.

Seyed Sharifi, R., and Kamari, H. 2015. Effects of Nano-Zinc oxide and seed inoculation of Triticale. Journal of Plant Process and Function 4 (13): 97-112. (In Persian with English Summary)

Shenker, M., and Chen, Y. 2005. Increasing iron availability to crops: fertilizers, organic-fertilizers, and biological approaches. Soil Science and Plant Nutrition 51: 1-17.

Stacey, S.P., and Oosterhuis, D.M. 2007. Effect of EDTA on the foliar absorption of trace element fertilizers. Soil Fertility Studies 558: 80-81.

Waling, I., Vark, W.V., Houba, V.J.G., and Vanderlee, J.J. 1989. Soil and plant analysis a series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University. 207 p.

Wei, Y., Shohag, M.J.I., and Yang, X. 2012. Biofortification and bioavailability of rice grain zinc as affected by different forms of foliar zinc fertilization. PLoS ONE 7 (9): 1-10.

Westerman, L.Z. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America, INC. Madison, Wisconsin, USA. 760 p.

White, P.J., and Broadley, M.R. 2005. Biofortifying crops with essential mineral elements. Trends in Plant Sciences 10 (12): 586-593.

Wu, C., Lu, L., Yang, X., Feng, Y., and Wei, Y. 2010. Uptake, translocation, and remobilization of zinc absorbed at different growth stages by rice genotypes of different Zn densities. Journal of Agricultural and Food Chemistry 58: 6767-6773.

Yang, J., and Zhang, J. 2006. Grain filling of cereals under soil drying. New Phytologist 169: 223-236.

Zhao, F.J., and McGrath, S.P. 2009. Biofortification and phytoremediation. Current Opinion in Plant Biology 12(3): 373-380.

Ziaeian, A.H., and Malakouti, M.J. 2002. Effects of Fe, Mn, Zn and Cu fertilization on the yield and grain quality of wheat in the calcareous soils of Iran. Plant Nutrition 92: 840-841.

Zimmermann, M.B., and Hurrell, R.F. 2002. Improving iron, zinc and vitamin A nutrition through plant biotechnology. Current Opinion in Biotechnology 13: 142-145.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.2, Summer 2019, p. 453-466

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 11، شماره 2، تابستان 1398، ص 466-453

Biofortification of New and Old Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars through Foliar Application of Zinc and Iron Different Forms

E. Arazmjoo[1], M.A. Behdani[2*], S. Mahmoodi[3] and B. Sadeghzadeh[4]
Submitted: 12-10-2017
Accepted: 23-01-2017

Arazmjoo, E., Behdani, M.A., Mahmoodi, S., Sadeghzadeh, B. 2019. Biofortification of new and old bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars through foliar application of zinc and iron different forms. Journal of Agroecology. 11 (2): 453-466.

Introduction

Apart from inadequate soil N and P, soil zinc (Zn) and Iron (Fe) deficiencies also pose a serious threat to global crop production and food nutrition. Zn and Fe deficiencies affect more than half of the world's population, especially women and preschool children. Micronutrient malnutrition in human in developing countries is derived from deficiencies of these elements in staple food. Many approaches have been chosen to increase the Zn and Fe content in wheat grains and ameliorate their malnutrition, including breeding, genetic engineering and agronomic approaches. Among them, fertilization, especially foliar Zn and Fe spray is considered as a rapid and efficient way to reach high Zn and Fe in grains. Foliar application is executable, sustainable, economically implementable, highly efficacious, and able to cover wide areas, especially in undeveloped regions worldwide.

Materials and methods

In order to evaluate the effect of foliar application of zinc and iron in different forms on dry matter remobilization and grain quality of four bread wheat cultivars in two locations, an experiment in factorial conducted in randomized complete block design with three replications during 2015-2016 cropping season. Experimental treatments were included: wheat cultivars Roshan, Roshan Back cross (old cultivars), Bam and Ofogh (new cultivars), zinc application in three levels of foliar application of water (control), zinc sulfate and chelated zinc and iron application in three levels of foliar application of water (control), iron sulfate and chelated iron (equivalent to 2.5 kg per hectare). The first experiment conducted at the Research Farm of Birjand University located in Amirabad region with sandy clay loam soil texture, and 8.1 pH. The second experiment conducted at the South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center located in Mohammadieh region with loam soil texture, and 7.6 pH. Investigated traits were including the amount, efficiency and ratio of dry matter remobilization and current photosynthesis, Zn, Fe, P and N concentration in grain. Data analyses were performed using two-way analysis of variance with SAS 9.1. Means of treatments were compared according to protected least significance differences test at the 5% level.

Results and discussion

According to the results, location had a significant effect on all traits. Grain Zn, Fe, P and N and also amount, efficiency and ratio of current photosynthesis were lower in Amirabad, perhaps because of its higher soil pH and EC. Grain Zn and Fe at Mohammadieh were 34.4 and 24 percent higher than Amirabad, respectively. Wheat cultivars were significantly different in their grain Zn, Fe and N. Older cultivars including Roshan and Roshan-Back cross had higher Zn and Fe contrasting with newer cultivars of Bam and Ofogh. The highest grain N with 1.94 percent was belonged to Roshan cultivar. The highest amount of remobilization and its efficiency were related to Ofogh and then Bam cultivars. In the present experiment it was observed that foliar application of zinc

1, 2 and 3- Ph.D. Graduate Student in Agronomy, Professor and Associate professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Birjand, respectively.
4- Associated Professor, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran
(*- Corresponding Author Email: mabehdani@birjand.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v11i2.67935

especially in the form of $ZnSO_4$ significantly increased grain Zn (by 18%) and N (by 4.4%) but reduced grain P (by 15.2%). Wei et al. (2012) reported that foliar application of zinc forms with lower molecular weight such as $ZnSO_4$ and Zn-AA were more effective contrasting their chelated and citrated forms. Grain Zn improved by 15.5% and 21.6% in Mohammadieh and Amirabad region via foliar application of $ZnSO_4$, respectively. Furthermore, foliar application of iron especially in the form of $FeSO_4$ significantly improved grain Fe concentration (by 12.9%) but reduced grain P (by 11%).

Conclusion

According to the results, it can be concluded that there is a significant genetic potential of grain nutrients between cultivars. Understanding these genetic properties and take advantage of them for wheat breeding could be helpful to reach cultivars with higher grain nutrients. The present study observed that the foliar application of Zn and Fe could improve their grain concentration, as well as N content, while decreased the P contents. The elevating effects of $ZnSO_4$ and $FeSO_4$ on the Zn and Fe concentration were better than those of Zn-EDTA and Fe-EDDHA, respectively especially in Amirabad region with higher pH and EC. In conclusion, foliar Zn and Fe fertilization is an effective agricultural approach for promoting grain Zn and Fe concentration.

Keywords: Current photosynthesis, Grain nutrients, Micronutrients, Region, Sulfated and chelated forms